



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CCET - CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA (DEQ)

RODRIGO DE CASTRO TAVARES

GERENCIAMENTO DO RESÍDUO DE PODA URBANA E REAPROVEITAMENTO  
DESSERES RESÍDUOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos.

Orientador: Fabio Bentes

São Carlos

2024

GERENCIAMENTO DO RESÍDUO DE PODA URBANA E REAPROVEITAMENTO DESSES RESÍDUOS.

RODRIGO DE CASTRO TAVARES

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Orientador**

Fabio Bentes Freire  
Universidade Federal de São Carlos

---

Membro da banca (1)

José Teixeira Freire  
Universidade Federal de São Carlos

---

Membro da banca (2)

Maria do Carmo Ferreira  
Universidade Federal de São Carlos

Dedico esse trabalho a minha avó Teresa que hoje descansa em paz. Que sua bondade perdure nas nossas memórias e que transpareça nas nossas ações para toda a eternidade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas que estiveram comigo nessa longa jornada de muito suor e luta, aos meus familiares que não me abandonaram nem sequer por um segundo, a República Canarinho que foi meu lar e onde vivi parte dos melhores anos da minha vida e a República Arapuca por ter me acolhido e ter virado parte da minha família.

Faço um agradecimento especial ao professor Ricardo Correa da Silva que me ajudou num momento muito crítico da minha graduação e que foi peça chave para que eu finalizasse o curso e ao professor Fabio Bentes Freire que foi um exímio orientador e um grande parceiro nesse final de curso.

E por último, mas não menos importante eu gostaria de agradecer a mim mesmo por não ter desistido, por ter acreditado que era possível, por ter combatido o bom combate, por ter sido perseverante e por se reerguer inúmeras vezes mesmo quando a vontade era se manter caído.

“É necessário sempre acreditar que o sonho é possível, que o céu é o limite e você, truta, é imbatível” - Aivaldo Pereira Alves e Cristian De Souza Augusto

## RESUMO

A arborização urbana engloba toda a cobertura vegetal situada dentro do perímetro de uma cidade, podendo ser classificada em áreas verdes, como parques e praças, e de vias públicas. Muito além da questão visual, a presença verde parece atenuar problemas comuns em cidades brasileiras, como as ilhas de calor e as poluições sonora e atmosférica. Os resíduos resultantes dos serviços de manejo na cidade de São Carlos, por exemplo, após serem triturados, geram um grande volume de material vegetal que é aproveitado como substrato para o cultivo de mudas e melhoria do solo de praças, canteiros centrais e de áreas verdes em geral. A biomassa de poda urbana possui características energéticas, físicas e químicas com potencial para geração de energia térmica, lembrando que a contribuição de biomassa na matriz energética brasileira vem crescendo nos últimos anos, seguindo uma tendência mundial de reaproveitamento de recursos materiais. O incentivo à energia renovável para garantir o crescimento sustentável das economias em todo o mundo redefiniu a importância dos resíduos e subprodutos sólidos. Partindo dessa perspectiva, há interesse em modelos de gestão de resíduos que envolvam a partilha, a transferência, a reutilização, a reparação, a renovação e a reciclagem de materiais durante o maior tempo possível. Dentro dessa filosofia, prolongam-se os ciclos de vida e, ao mesmo tempo, reduz-se o descarte prematuro. Em outras palavras, buscam-se estratégias em que os materiais nunca se transformam em resíduos convencionais e a natureza é regenerada. O Brasil ainda é pouco atuante nesse cenário, o objetivo desse Trabalho de Graduação é justamente mostrar um panorama dos avanços e das tendências sobre como a gestão de resíduos de poda urbana pode ajudar a movimentar a ainda incipiente economia circular no país. O Brasil é reconhecido por utilizar biomassa para gerar energia e também por ser um dos maiores produtores mundiais de biocombustíveis, sendo que as principais fontes são a cana-de-açúcar e a madeira. Outras vias de aproveitamento podem ser implementadas tendo como ponto de partida a matéria-prima resultante da poda urbana. A tendência atual é de evolução das políticas públicas e de aumento das iniciativas para adoção dos elementos da circularidade nos setores produtivos e de serviços. Diferentemente do que acontece mundo afora, no Brasil ainda não há políticas públicas ou legislação específica para incentivar a valorização dos resíduos de poda urbana. Por ora, o que se tem de concreto, além de esforços pontuais, é uma atuação crescente das universidades e instituições de pesquisa em projetos principalmente de áreas como, reaproveitamento energético, saneamento básico e reciclagem.

Palavras-chave: Arborização Urbana. Economia Circular. Aproveitamento de Biomassa. Gestão de Resíduos.

## **ABSTRACT**

Urban arborization encompasses all vegetation cover within a city's perimeter, which can be classified into green areas, such as parks and squares, and public roadways. Beyond the visual aspect, green presence appears to mitigate common issues in Brazilian cities, such as heat islands and noise and air pollution. For instance, the waste generated from maintenance services in the city of São Carlos, after being shredded, produces a large volume of plant material that is utilized as a substrate for seedling cultivation and soil improvement in squares, central medians, and green areas in general. Urban pruning biomass has energetic, physical, and chemical characteristics with potential for thermal energy generation, noting that biomass's contribution to the Brazilian energy matrix has been growing in recent years, following a global trend of resource material reuse. The promotion of renewable energy to ensure the sustainable growth of economies worldwide has redefined the importance of solid waste and by-products. From this perspective, there is an interest in waste management models that involve sharing, transferring, reusing, repairing, renewing, and recycling materials for as long as possible. Within this philosophy, the life cycles are extended while premature disposal is reduced. In other words, strategies are sought where materials never become conventional waste, and nature is regenerated. Brazil is still relatively inactive in this scenario, and the objective of this Undergraduate Thesis is precisely to provide an overview of the advances and trends on how urban pruning waste management can help stimulate the still nascent circular economy in the country. Brazil is recognized for utilizing biomass to generate energy and for being one of the world's largest biofuel producers, with sugarcane and wood being the primary sources. Other utilization pathways can be implemented using urban pruning waste as a starting material. The current trend is the evolution of public policies and the increase of initiatives for adopting circularity elements in productive and service sectors. Unlike what happens elsewhere in the world, Brazil still lacks public policies or specific legislation to encourage the valorization of urban pruning waste. For now, what is concrete, aside from specific efforts, is the growing involvement of universities and research institutions in projects, particularly in areas such as energy recovery, basic sanitation, and recycling.

**Keywords:** Urban Arborization. Circular Economy. Biomass Utilization. Waste Management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Foto de Goiânia, a cidade mais arborizada do Brasil segundo o IBGE em 2021 .....	14
Figura 2 - Processo de poda urbana na cidade de Maceió, no estado de Alagoas.....	19
Figura 3 - Índice de arborização em São Carlos .....	21
Figura 4 - Poda triturada .....	31
Figura 5 - Biochar.....	33
Figura 6 - Exemplo de processo de produção de biochar .....	38
Figura 7 - Produção de briquetes com resíduos de poda urbana na cidade Presidente Prudente.....	45

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 RELAÇÃO DO TRABALHO PROPOSTO COM O CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA .....</b>	<b>13</b>
<b>2 ARBORIZAÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>3 PLANEJAMENTO DE ARBORIZAÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>4 RESÍDUOS DE PODA .....</b>	<b>18</b>
<b>5 DADOS DE QUANTIDADE DE RESÍDUO DE PODAS .....</b>	<b>22</b>
<b>6 IMPACTOS NEGATIVOS DA FALTA DE PODA URBANA .....</b>	<b>23</b>
<b>7 DIRECIONAIS DE COMO DEVE SER FEITA A PODA .....</b>	<b>24</b>
<b>8 QUEM SÃO RESPONSÁVEIS PELA PODA URBANA .....</b>	<b>26</b>
<b>9 LEGISLAÇÃO .....</b>	<b>28</b>
<b>10 REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE PODA URBANA .....</b>	<b>29</b>
<b>11 COMPOSTAGEM .....</b>	<b>30</b>
<b>10.1 Caracterização dos Resíduos .....</b>	<b>30</b>
<b>10.2 Preparação dos Resíduos .....</b>	<b>30</b>
<b>10.3 Formação do Montículo de Compostagem .....</b>	<b>31</b>
<b>10.4 Condições de Compostagem .....</b>	<b>31</b>
<b>10.5 Monitoramento e Maturação .....</b>	<b>32</b>
<b>10.6 Utilização do Composto .....</b>	<b>32</b>
<b>12 BIOCHAR .....</b>	<b>32</b>
<b>12.1. O que é Biochar .....</b>	<b>33</b>
<b>13 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA .....</b>	<b>34</b>
<b>13.1 Preparação da Biomassa para Produção de Biochar .....</b>	<b>34</b>
<b>13.2 Secagem .....</b>	<b>35</b>
<b>13.3 Pirólise .....</b>	<b>37</b>
<b>13.4 Pirólise Lenta .....</b>	<b>38</b>
<b>13.5 Resfriamento e Armazenamento do Biochar .....</b>	<b>39</b>
<b>14 A ABUNDÂNCIA DE RESÍDUOS DE PODA URBANA .....</b>	<b>40</b>
<b>15 CARACTERÍSTICAS DOS REÍSIDOS DE PODA COMO MATÉRIA PRIMA ....</b>	<b>41</b>
<b>16 APLICAÇÕES ESPECÍFICAS DO BIOCHAR .....</b>	<b>42</b>
<b>17 IMPACTOS AMBIENTAIS POSITIVOS .....</b>	<b>44</b>

<b>18 VIABILIDADE ECONÔMICA E SUSTENTABILIDADE .....</b>	<b>44</b>
<b>19 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS .....</b>	<b>44</b>
<b>20 COMBUSTÃO DE BRIQUETES .....</b>	<b>45</b>
<b>21 CONCLUSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>49</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A importância da arborização no perímetro urbano das cidades vem crescendo nas últimas décadas ao mesmo tempo em que se entende melhor seus benefícios à qualidade de vida do morador. A presença de árvores ao longo de ruas, a existência de áreas verdes em praças, parques e canteiros, além do papel ornamental, hoje são vistas também como uma parte fundamental do desenvolvimento humano. Plantar árvores em ambiente urbano, caso em que se pode chamar de arborização urbana, vem sendo amplamente discutido dentro da sociedade, já existe uma conscientização de que a vegetação encontrada em locais desde matas de periferia até jardins privados ou qualquer outro tipo de espaços verdes, como avenidas arborizadas, praças e escarpas, melhoram a “saúde” da cidade. Os planos de florestação urbana são um meio eficaz de alcançar benefícios ambientais e sociais ao nível local, pois podem mitigar o efeito das ilhas de calor e reduzem a poluição atmosférica, ao mesmo tempo que criam novos espaços de agregação social.

O estímulo ao plantio e a extensão de áreas verdes nas cidades deve ser acompanhado de uma gestão capaz de atender as demandas de um setor que tende a crescer. Toda vegetação requer algum tipo de cuidado, não só para se desenvolver, mas também, para se manter em convivência integrada com a paisagem urbana. A poda é uma das etapas de manutenção mais significativas das árvores e plantas presentes nas cidades, serve, dentre outras coisas, para conduzir o crescimento do vegetal de maneira desejada, estimular a produção de flores e de frutos, e prevenir acidentes como quedas em vias públicas e interrupções na rede elétrica, só para citar alguns. Por ser titular do saneamento básico, é de responsabilidade do município prestar ou delegar os serviços de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos resultantes. Portanto, cabe à gestão municipal a coleta, o transbordo e o transporte dos resíduos de limpeza pública, a triagem para posterior reuso ou reciclagem, o tratamento e a disposição final, e os serviços de varrição, capina e podas de árvores em vias e logradouros públicos.

Ainda é uma prática comum em cidades brasileiras a disposição dos resíduos de podas em terrenos abertos, sem a adequada proteção ou tratamento. Uma alternativa

para esse problema é o aproveitamento e a valorização comercial destes resíduos, tornando-os matéria-prima dentro de uma cadeia produtiva. O resíduo de poda urbana é uma biomassa florestal rica em compostos lignocelulósicos que pode ser aproveitada de várias formas. Uma delas é através da compostagem para a produção de adubo orgânico, sendo hoje a via mais encontrada de aproveitamento. Outra a pirólise direta dos resíduos para a produção de biochar, um carvão vegetal muito usado para a correção de solo. O principal objetivo desse Trabalho de Graduação é dar uma visão geral sobre o gerenciamento do resíduo de poda urbana e seu reaproveitamento, buscando, através de uma revisão bibliográfica, organizar a informação disponível na literatura de forma a entender e contextualizar o assunto.

## **1.1 RELAÇÃO DO TRABALHO PROPOSTO COM O CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

É essencial que o engenheiro mantenha uma visão ativa sobre problemas sociais e colabore com outros setores para encontrar as melhores soluções. No curso de Engenharia Química da UFScar, compreende-se que o papel do engenheiro vai além do estudo interno, visando benefícios para a sociedade. Disciplinas como Controle Ambiental demonstram como aplicar conceitos de transformação da matéria para a preservação ambiental. As disciplinas de DPQ incentivam a busca colaborativa por soluções para problemas complexos, enquanto as de PPQ e PIQ desafiam os alunos a integrar teoria com criatividade. Toda a base obtida ao longo do curso serve como ferramenta para o desenvolvimento de soluções de impacto positivo. O conhecimento empírico é fundamental, mas a curiosidade e a colaboração interdisciplinar são igualmente importantes. A Engenharia Química é uma área versátil e dinâmica, que exige uma abordagem ampla e soluções inovadoras.

O trabalho a seguir tem como objetivo mostrar como esse olhar mais amplo pode propiciar uma gama maior de possibilidades para resolução de um problema ambiental pouco explorado com a gestão dos resíduos de poda urbana

## 2 ARBORIZAÇÃO

A arborização de centros urbanos permite a melhoria de diversos fatores inerentes ao ambiente como a regulação do clima, proteção do solo contra erosão, redução de ruído e melhoria na qualidade do ar.

Os locais arborizados são, geralmente, mais agradáveis aos sentidos humanos, porque reduzem a amplitude térmica, diminuem o potencial de temperaturas extremas, controlam a direção e a velocidade dos ventos, promovem o sombreamento, contribuem para a redução da poluição atmosférica, sonora e visual. Nesse contexto, florestas urbanas constituem um pré-requisito para um ambiente urbano saudável, essencial para a harmonia entre o ser humano e os ambientes nos quais ele está inserido (LOCKE & BAINE, 2015; KOLBE *et al.*, 2016; SARTORI *et al.*, 2018). Ambientes urbanos geralmente são mais quentes que seus ambientes rurais circundantes por conta de um fenômeno chamado “Ilha de calor”.

Figura 1 - Foto de Goiânia, a cidade mais arborizada do Brasil segundo o IBGE em 2021



FONTE: Prefeitura de Goiânia, 2019

O fenômeno das ilhas de calor é caracterizado principalmente pelas mudanças na temperatura do ar, mais próximo à superfície do solo, de maneira distinta em ambiente urbano e rural. Variações microclimáticas são acentuadas em ambiente urbano, pela combinação de vários elementos, dentre os quais construções verticalizadas,

asfaltamento, falta de áreas verdes adequadas e grande movimentação de automóveis, onde estes, juntamente com indústrias e habitantes causam grande poluição. (COLTRI,2006).

A arborização dos centros urbanos diminui o desconforto térmico causado pela grande quantidade de prédios e casas. De modo geral as árvores inibem que a radiação atinja a parte de solo diretamente abaixo dela, além de absorver essa radiação e acelerar o processo de fotossíntese. Diversas pesquisas mostram o potencial que árvores tem para o controle de temperatura.

As árvores são como bombas de água autorreguláveis, pois abrem seus estômatos quando existe disponibilidade de água e calor, refrescando o meio pela evapotranspiração das partículas de água, e fecham quando situações adversas ocorrem, preservando condições favoráveis e condicionando o clima urbano, diminuindo a amplitude térmica, adequando a cidade dentro da faixa de conforto térmico humano que está em torno de 25°C (MILLER, 1997).

Um estudo desenvolvido na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq) USP aponta a quantidade de árvores necessária para diminuir o calor excessivo em determinada área urbana. Segundo a pesquisa, em Piracicaba, para diminuir 1°C na temperatura média urbana é necessário acrescentar 14,31% de cobertura arbórea na estação seca e 27,70% na estação chuvosa.

A arborização, além do controle de temperatura, reduz os ruídos da cidade, melhorando também o conforto sonoro. A utilização de árvores para controle sonoro é eficaz na atenuação e dissipação do som, conforme demonstrado por estudos acadêmicos. Quando nos encontramos em uma área verde ou parque dentro de uma cidade agitada, a diminuição do nível de ruído em comparação com as áreas circundantes é evidente. Além da percepção sensorial, a redução do ruído pode ser verificada com a ajuda de decibelímetros, que são instrumentos para medir a intensidade sonora e que podem ser encontrados em aplicativos para smartphones.

A explicação física para isso, segundo Maleki *et al.* (2011), é o fato de parte da energia transportada pela onda poder ser dissipada na forma de calor devido ao atrito

com as folhas. A partir de seus estudos que envolveram várias espécies de árvores, volumes de copa e folhagens afirma-se que para atenuação do ruído áreas verdes de plantios mistos devem ser plantadas.

Quando uma onda sonora incide sobre um material flexível, a onda se propaga em seu interior, de modo que a própria estrutura do material sofre deformações, existindo movimento relativo entre a fase fluida e a estrutura interna. Assim, por consequência do atrito no interior do material, esse gera perdas de energia acústica porque o fluido no interior dos poros sofre pressão e descompressão que converte a energia acústica em calor. Dependendo do tamanho dos poros e da espessura da camada limite viscosa interna haverá maior ou menor perda de energia (HONORATO, 2013). Além dos benefícios citados, a arborização urbana também pode ajudar na preservação do solo.

Quando a água das chuvas cai na cidade, ela se dissipa de várias formas: parte retorna ao ar pela evapotranspiração, perpetuando o ciclo da água e fazendo chover; parte se infiltra no solo, indo abastecer os lençóis de águas; parte se infiltra superficialmente, umedecendo o solo; parte escorre sobre a superfície do solo e, se intensa, causa erosões, deslizamentos, enchentes e empobrecimento do solo (PAIVA; GONÇALVES, 2002). Os solos da cidade, impermeabilizados por cimento e asfalto, têm escoamento superficial e intenso, pois quase toda a água escorre pelas ruas. Se o sistema de drenagem da cidade não funciona adequadamente, ocorrem inundações (PAIVA; GONÇALVES, 2002).

Dentre os benefícios econômicos salienta-se a valorização de imóveis em propriedades arborizadas que pode chegar de 5 a 20 % a mais quando comparadas a casas não arborizadas (REGISTRO, 2016).

### **3 PLANEJAMENTO DE ARBORIZAÇÃO**

A arborização urbana se prova não apenas como alternativa, mas como solução no que diz respeito a melhoria em diversos âmbitos relacionados a minimização dos impactos ambientais que centros urbanos causam e, por isso, todo o planejamento de

manutenção das árvores, desde o plantio até sua remoção, deve ser feito de maneira cuidadosa afim de evitar problemas estruturais.

Existem espécies específicas para utilização na arborização urbana. Cada centro urbano tem suas características próprias relacionadas ao clima, ao tipo de solo e suas construções e essas características próprias do ambiente urbano é que vai determinar quais espécies poderão ser plantadas ali. Dessa forma é imprescindível que se use todos os critérios técnicos científicos nesse processo.

[...] arborizar não é plantar mudas, ao acaso, na cidade. As árvores do perímetro urbano são constantemente ameaçadas pelo descuido da população e do Poder Público e pela instalação ou mesmo localização dos equipamentos destinados ao atendimento das necessidades públicas (rede elétrica, de água e esgoto, por exemplo). Assim, é de suma importância a correta orientação das prefeituras acerca do planejamento da arborização urbana, desde a escolha adequada da espécie até a forma de plantio e conservação das árvores, sem que estas interfiram nos serviços e equipamentos de utilidade pública evitando ainda o sacrifício das árvores, prejudicando o paisagismo urbano. (SOUZA, 2012, p.63 apud CABRAL, 2013, p.13).

A prefeitura de São Paulo disponibilizou um manual com direcionais sobre o plantio de árvores em centros urbanos. Para o plantio nas calçadas/passeios públicos, a escolha da espécie adequada permite que a árvore tenha um pleno desenvolvimento, explorando o espaço aéreo disponível sem causar interferências e danos aos demais equipamentos públicos, às construções e ao calçamento, e conseqüentemente tendem a diminuir as ações de manejo, ao longo do seu desenvolvimento, especialmente podas e transplantes (SÃO PAULO, 2017).

Para a realização do plantio é necessário que um técnico especializado o faça, ainda assim foi elaborada uma ferramenta chamada “Chave arborizar” que consiste na descrição de maneira simples e objetiva dos aspectos físicos referentes ao local, elencando as características de cada parâmetro em itens numerados, que auxilia o técnico responsável na decisão de plantar ou não uma árvore no local pretendido e, em sendo viável o plantio, indica uma tabela de espécies para a escolha (SÃO PAULO, 2017).

Dentro dessa ferramenta é possível obter orientação de plantio em áreas próximas a redes elétricas onde é necessário verificar a existência de recuo para o plantio. A análise desse aspecto físico está correlacionada com o aspecto biológico - arquitetura da copa da árvore a ser plantada, elementos e mobiliários urbanos nas calçadas onde se avalia a distância mínima da árvore em relação aos equipamentos, mobiliários urbanos e demais árvores, o tipo de via em que se avalia a possibilidade do plantio e o tipo de tráfego na faixa de rolamento localizada junto à calçada.

É importante mencionar que cada país segue um padrão de plantio de árvores em centros urbanos. O manual “The Right Tree in the Right Place for a Resilient Future” traz informações relevantes de plantio de árvores no Reino Unido e em cidades dos Estados Unidos, nele é possível encontrar um conjunto de referências no que diz respeito a manutenção da planta e controle de pragas que podem acometer a árvore.

O Defra (Department for Environment, Food & Rural Affairs), órgão responsável pelo manejo de árvores no Reino Unido, tem um plano de contingência para tratar da saúde das árvores mapeadas e também ações sobre plantas que sofrem ações de pragas.

#### **4 RESÍDUOS DE PODA**

Todo o processo de plantio de árvore leva em consideração uma infinidade de fatores iniciais e se estendem a manutenção da árvore e sobre sua remoção. Esse processo de manutenção das árvores em centros urbanos gera resíduos já que é necessário que se faça a poda dessas plantas.

Figura 2 - Processo de poda urbana na cidade de Maceió, no estado de Alagoas



FONTE: Alisson Frazão / Secom Maceió, 2024

O processo de poda da árvore vai trazer mais proteção para a planta e as pessoas que vivem próximas a essas árvores. Se feita de maneira regular e correta mantém a estrutura da planta saudável reduzindo risco de queda de galhos, o que pode gerar acidentes e danos, devido ao fato dela receber mais luz e água. A poda ajuda direcionar as plantas corretamente no espaço designado par a mesma, limpando galhos excedentes e removendo galhos mortos, promovendo melhor germinação nos ciclos subsequentes.

A poda consiste na eliminação de parte dos ramos vegetativos e reprodutivos de uma planta, visando uma forma e produção adequadas à finalidade desejada. O método de poda deve levar em consideração as diferentes arquiteturas das cultivares, assim como as condições climáticas. A poda é um meio para a obtenção de um máximo de benefícios; a adubação, os tratos fitossanitários e as práticas culturais têm idêntica importância (COUTANCEAU, 1971; VELARDE, 1989; CULL, 1991).

A poda adquire relevância quando se empregam sistemas modernos de alta densidade de plantio. A tendência atual é "adaptar" a planta a um espaço predeterminado e, assim, a vantagem real da condução da árvore por meio da poda somente será demonstrada quando as árvores não podadas alcançarem o estágio de sobreposição.

Uma árvore não podada também encontra o seu equilíbrio, porém seus frutos vão estar mal distribuídos, afastados dos ramos principais, pouco coloridos e, muitas vezes, pequenos (BRICKEL, 1979; MULLINS, 1986; SIMÃO, 1998; GALÁN SAUCO, 1999).

É importante salientar que, apesar da importância da arborização em centros urbanos, poucos municípios no Brasil adotam essa prática. Se poucos municípios têm sequer um planejamento de plantio de árvores, o manejo de resíduos fica ainda mais em segundo plano.

Tendo em vista que a arborização urbana é uma prática relativamente nova no Brasil, sua implantação geralmente ocorre de forma empírica, fora de um contexto técnico-científico na maior parte das cidades brasileiras (SILVA, 2013). A análise dos dados sobre a arborização urbana no Brasil, constatou que a arborização urbana se tornou mais um elemento de segregação socioespacial. Quanto menor a renda e quanto menor as condições da moradia, menor o percentual de arborização urbana.

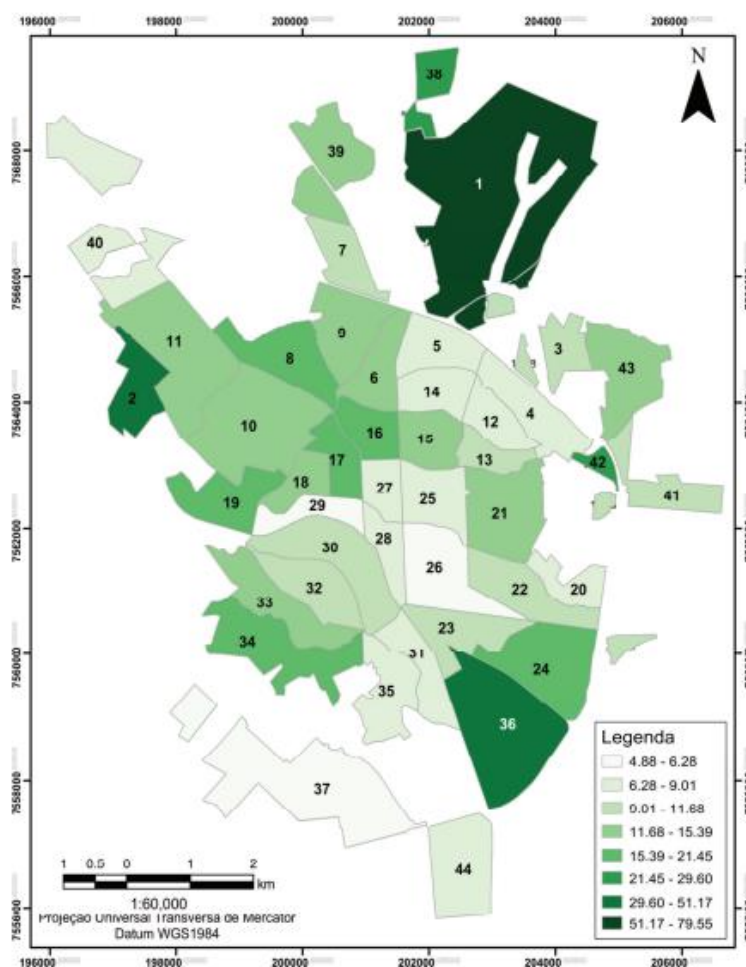
Portanto, a arborização urbana no Brasil reflete uma situação de injustiça ambiental, que Aleixo *et al.* (2016) definem como uma desigualdade no acesso aos recursos ambientais. Bairros com maior status socioeconômico usualmente apresentam uma maior diversidade vegetal, seja em seus espaços livres públicos, como parques e praças (os quais usualmente inexistem em bairros pobres), seja nos seus quintais (ANGEOLETTO *et al.*, 2015). Conseqüentemente a realização da poda é feita regularmente afim de preservar a estética do local assim como para prevenir os problemas que a falta de poda pode causar.

A cidade de São Paulo possui 652 mil árvores em praças, calçadas e canteiros centrais, segundo dados da SVMA (Secretaria do Verde e Meio Ambiente), sem contar as árvores dentro de parques municipais. A Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP) estima recolher de 3,5 a 4 mil toneladas de resíduos da poda de árvores por mês. O volume anual pode chegar a 50 mil toneladas (galhos e troncos) (ROCHA *et al.*, 2015). Bertioga, cidade litorânea do estado de São Paulo, gera 180 toneladas de resíduos de poda por mês (PMB, 2016), o que totaliza mais de 2 mil toneladas por ano. Esses

números mostram que a quantidade desse tipo de resíduo é expressiva, seja para um município grande, como São Paulo, ou pequeno, como Bertiooga (ITP & FAU, 2023)

Para cidade de São Carlos não foram encontrados dados de número de árvores presentes na cidade. Uma pesquisa mostra que 26% da área da cidade é coberta por árvores, o que está abaixo do ideal de acordo com. Em São Carlos, devido ao porte da cidade, a cobertura arbórea deveria ser de 30%. Além do baixo índice de arborização a distribuição também é inadequada, 40% de todas as árvores plantadas na cidade se encontram nas dependências da Universidade Federal de São Carlos, enquanto em bairros periféricos como Aracy e Antenor Garcia essa porcentagem corresponde a 5% (MIEKO, 2013)

Figura 3 - Índice de arborização em São Carlos



FONTE: Percepção e quantificação das árvores na área urbana do município de São Carlos, SP, 2013

Quando fazemos a divisão da cidade de São Carlos podemos facilmente perceber que as áreas com maior índice percentual de arborização se encontram nas regiões da UFSCAR e do campus 2 da USP.

O mapeamento da cidade de São Carlos e os estudos feitos nela demonstram uma grande ineficiência relacionada a políticas de arborização da cidade e distribuição desse plantio. Fica claro que a falta de planejamento relacionado a arborização da cidade impacta também no que se refere a política de resíduo de poda urbana. A Prefeitura de São Carlos alega que a maioria desse resíduo é depositado em áreas de aterro ou em ecopontos espalhados pela cidade (MIEKO, 2013).

## **5 DADOS DE QUANTIDADE DE RESÍDUO DE PODAS**

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2020), em 2019 foi levantada a existência de apenas 44 unidades de manejo de material proveniente de poda e 73 usinas de compostagem em todo o Brasil. Essas unidades receberam, respectivamente, 142.625,1 toneladas e 304.637,3 toneladas de resíduos orgânicos no referido ano, em comparação com um total de 57.010.162,1 toneladas destinadas a aterros sanitários, aterros controlados e lixões (ITP & FAUSP, 2023)

Existem poucos dados a respeito de como é feita a gestão dos resíduos sólidos na cidade de São Carlos. De acordo com a prefeitura da cidade os resíduos de madeira, poda e corte de árvores são triturados em um picador e triturador de galhos, instalados no aterro de RCC, que é operado pelo grupo de catadores. O material resultante é comercializado e a renda obtida revertida aos próprios catadores.

Esses dados corroboram a afirmação de que no Brasil as políticas para plantio e manejo de árvores desde o seu plantio até sua poda são extremamente deficientes.

## 6 IMPACTOS NEGATIVOS DA FALTA DE PODA URBANA

O descarte de materiais orgânicos em aterros passa a ser um problema que chama bastante atenção já que seu potencial já que esse material é uma das principais fontes de geração de metano, que é 20 vezes maior em potencial de contribuição para o efeito estufa que o dióxido de carbono, além da poluição do solo, dos lençóis freáticos e das águas superficiais, como também a possibilidade de atrair pragas e vetores (BRASIL, 2012)

Quando a eliminação é incorreta, são inúmeros os danos que ocorrem no meio ambiente. Quando se analisa o lixo orgânico e doméstico, durante a decomposição da parte biodegradável, ocorre a liberação de gases, em especial o metano (CH<sub>4</sub>). Um dos efeitos negativos do CH<sub>4</sub> para o meio ambiente é a sua contribuição para o desequilíbrio do efeito estufa, podendo colaborar para o aquecimento global. O metano não entra no grupo de poluentes que servem como indicadores da qualidade do ar, porém entra no grupo dos poluentes climáticos de vida curta e quanto às possíveis alterações climáticas, impacta 20 vezes mais que o dióxido de carbono - CO<sub>2</sub> (ECYCLE, 2014).

Dada a quantidade de resíduo por conta da arborização das cidades e pelo manejo feito de maneira ineficiente fica evidente a necessidade de políticas de reaproveitamento desses resíduos e de processos que permitam extrair o máximo de potencial que esse material orgânico pode fornecer.

A ausência de poda urbana pode ter diversos impactos negativos, conforme evidenciado por vários estudos acadêmicos. Um dos principais problemas é a saúde das árvores. A falta de poda pode levar ao acúmulo de galhos mortos e infestados, facilitando a propagação de doenças e pragas. Um estudo de McPherson *et al.* (2016), intitulado "Urban Tree Health: The Importance of Pruning for Pest and Disease Management", publicado na *Urban Forestry & Urban Greening*, destaca como a poda regular é crucial para prevenir problemas fitossanitários e manter a saúde das árvores urbanas.

Além disso, a segurança pública pode ser comprometida pela falta de poda. Galhos grandes e pesados que não são podados adequadamente podem cair, causando acidentes e danos materiais. O artigo "Urban Tree Hazards: A Review of Tree-Related

Incidents and Risk Management Strategies" de C. W. Smith e colegas, publicado na Journal of Arboriculture (2019), explora como árvores malcuidadas representam riscos significativos e como a gestão de riscos é essencial para evitar incidentes.

A obstrução de infraestruturas urbanas é outro problema relevante. Árvores que crescem desordenadamente podem bloquear calçadas, ruas e sinais de trânsito, afetando a mobilidade e a segurança. O estudo "Impact of Urban Tree Canopies on Infrastructure and Traffic Safety", publicado na Journal of Urban Planning and Development (2021), analisa como a vegetação descontrolada pode interferir nas infraestruturas urbanas e comprometer a segurança viária.

A estética urbana e o valor das propriedades também podem ser negativamente afetados pela falta de poda. Árvores mal cuidadas tendem a ter uma aparência desordenada, o que pode reduzir a qualidade estética das áreas urbanas e impactar o valor imobiliário. O artigo "The Role of Urban Trees in Enhancing Aesthetic and Economic Value", publicado na Landscape and Urban Planning (2020), investiga como a poda contribui para a valorização estética e econômica das propriedades urbanas.

Finalmente, a falta de poda pode diminuir os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas árvores. A capacidade das árvores de filtrar o ar, reduzir a temperatura urbana e promover a biodiversidade pode ser prejudicada sem a manutenção adequada. O estudo "Ecosystem Services of Urban Trees and the Effects of Management Practices", publicado na Ecological Indicators (2022), discute como práticas inadequadas de gestão, como a falta de poda, podem reduzir os benefícios ambientais das árvores urbanas.

Esses estudos destacam a importância da poda urbana não apenas para a saúde e segurança das árvores, mas também para a funcionalidade e a estética das áreas urbanas.

## **7 DIRECIONAIS DE COMO DEVE SER FEITA A PODA**

A poda urbana é uma prática essencial para manter a saúde e a estética das árvores nas áreas urbanas, mas é importante realizá-la de maneira correta para garantir

tanto a segurança quanto o bem-estar das árvores. Em primeiro lugar, a escolha do momento certo para a poda é crucial. A maioria dos especialistas recomenda realizar a poda durante a estação de inatividade das árvores, geralmente no final do inverno ou início da primavera, antes do início do crescimento ativo (GILMAN *et al.*, 2008). Isso minimiza o estresse para a árvore e reduz o risco de doenças, uma vez que o corte não atrai tantas pragas e patógenos quando a árvore está em repouso (ARNOLD, 1993). O Manual de Podas da Prefeitura de São Paulo também enfatiza que a poda deve ser feita preferencialmente fora da estação de maior crescimento para evitar danos e facilitar a cicatrização dos cortes (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2017).

Além do timing, a técnica de poda utilizada é fundamental. É importante remover apenas os ramos que são realmente necessários, para evitar danos à estrutura da árvore. A poda deve ser feita de forma seletiva e cuidadosa, com cortes limpos e precisos (KOESER *et al.*, 2011). O Manual de Podas da Prefeitura de São Paulo reforça que os cortes devem ser realizados de forma a manter a saúde e a estrutura da árvore, evitando práticas como a poda drástica, que pode comprometer o crescimento futuro e a integridade da árvore (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2017). É aconselhável seguir o princípio dos três "C's" da poda: corte, cuidado e controle. Isso significa cortar apenas os ramos mortos, doentes ou danificados, cuidar para que os cortes sejam feitos de maneira a promover o crescimento saudável e controlar a forma da árvore para que ela se adapte melhor ao ambiente urbano (WATSON & HIMELICK, 2013).

Outro aspecto relevante é a altura da poda. As árvores urbanas muitas vezes precisam ser podadas para evitar interferências com estruturas e serviços públicos, mas é essencial garantir que a poda não comprometa a integridade da árvore. A técnica de poda de copa, que consiste em reduzir o tamanho da copa da árvore, deve ser feita com cautela para evitar o enfraquecimento da árvore e a redução de sua capacidade de fotossíntese (SMILEY & KANE, 2012). O Manual de Podas da Prefeitura de São Paulo recomenda a poda de copa apenas quando estritamente necessário, para evitar a eliminação excessiva de folhas e a subsequente diminuição da capacidade fotossintética da árvore (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2017). Em vez de podar drasticamente, é

preferível adotar uma abordagem gradual, que permita à árvore se ajustar ao longo do tempo (SHIGO, 1986).

Finalmente, o uso de ferramentas apropriadas e a manutenção adequada delas também são aspectos essenciais para uma poda eficaz. Ferramentas afiadas e bem mantidas garantem cortes mais limpos e reduzem o risco de infecções (LILLY, 2007). Além disso, a técnica correta ao utilizar essas ferramentas ajuda a evitar danos à árvore e à saúde dos profissionais envolvidos (HARRIS *et al.*, 1999). O Manual de Podas da Prefeitura de São Paulo também destaca a importância da formação e capacitação dos profissionais envolvidos na poda para assegurar que as práticas realizadas estejam de acordo com as melhores técnicas e regulamentos estabelecidos (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2017).

## **8 QUEM SÃO RESPONSÁVEIS PELA PODA URBANA**

A gestão da poda urbana é uma tarefa complexa e essencial para a manutenção da saúde e segurança das árvores nas áreas urbanas. Em diferentes cidades ao redor do mundo, diversas entidades são responsáveis por essa atividade, refletindo a importância de práticas bem coordenadas e eficientes.

No Brasil, as responsabilidades pela poda urbana geralmente recaem sobre órgãos municipais ou empresas contratadas pelas prefeituras. Por exemplo, em São Paulo, a Secretaria do Verde e do Meio Ambiente gerencia as podas urbanas. A cidade segue diretrizes específicas estabelecidas em seu Manual de Podas, que orienta sobre técnicas apropriadas e períodos ideais para a poda, visando promover a saúde das árvores e garantir a segurança pública (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2017).

No Rio de Janeiro, a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) é a responsável pela poda das árvores públicas. A COMLURB não apenas realiza a poda, mas também integra essa atividade em um contexto mais amplo de gestão de resíduos e limpeza urbana, contribuindo para a manutenção geral da cidade (COMLURB, 2020).

Em Belo Horizonte, a Empresa de Urbanização de Belo Horizonte (URBEL) coordena a poda urbana. A URBEL segue normas e práticas específicas para assegurar que as árvores da cidade sejam adequadamente cuidadas, garantindo tanto a estética quanto a segurança das áreas urbanas (URBEL, 2021).

Internacionalmente, o gerenciamento da poda urbana também varia conforme as cidades e suas estruturas administrativas. Em Nova York, por exemplo, o Departamento de Parques e Recreação é responsável pela poda das árvores públicas. O departamento adota práticas rigorosas e diretrizes para assegurar a saúde e segurança das árvores urbanas, refletindo um compromisso com a sustentabilidade e a qualidade de vida (NEW YORK CITY DEPARTMENT OF PARKS & RECREATION, 2021).

Londres segue uma abordagem semelhante com o Departamento de Gestão de Áreas Verdes da Prefeitura de Londres, que realiza a poda e outros cuidados relacionados com as árvores públicas. O Departamento implementa um plano de gestão detalhado para garantir que a poda não só mantenha a segurança, mas também suporte a saúde a longo prazo das árvores urbanas (LONDON TREE OFFICERS ASSOCIATION, 2020).

Em Sydney, a empresa Sydney Tree Management trabalha em conjunto com o Conselho de Sydney para gerenciar a poda urbana. Eles seguem diretrizes específicas para assegurar que as práticas de poda promovam tanto a saúde das árvores quanto a segurança pública, demonstrando a importância de uma abordagem bem planejada para a gestão de árvores urbanas (CITY OF SYDNEY, 2022).

A gestão de resíduos é uma questão crucial para a sustentabilidade ambiental, especialmente em áreas urbanas onde a quantidade de resíduos pode ser significativa. No Brasil, a gestão de resíduos, incluindo os provenientes da poda urbana, é regulamentada por uma série de leis e normas que visam garantir a correta disposição e tratamento desses materiais para minimizar impactos ambientais e promover a sustentabilidade.

## 9 LEGISLAÇÃO

No Brasil, a Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que estabelece diretrizes para a gestão e gerenciamento de resíduos. A PNRS tem como objetivo principal a proteção da saúde pública e a qualidade ambiental através da gestão integrada e do gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. A lei exige que os municípios elaborem planos de gestão de resíduos sólidos, que devem incluir estratégias para o manejo adequado de todos os tipos de resíduos, incluindo os de poda urbana (BRASIL, 2010).

Os resíduos de poda, que incluem galhos, folhas e restos de arbustos, são classificados como resíduos sólidos não perigosos e devem ser tratados de acordo com as diretrizes da PNRS. A Lei nº 12.305/2010 estabelece que os resíduos sólidos devem ser coletados, transportados e destinados de forma que não comprometa a saúde pública e o meio ambiente (BRASIL, 2010). Em conformidade com esta lei, muitos municípios brasileiros, como São Paulo e Rio de Janeiro, têm desenvolvido sistemas de coleta e destinação de resíduos de poda que incluem a compostagem e a reciclagem.

Em São Paulo, a gestão de resíduos de poda é regida pela Lei Municipal nº 15.939, de 22 de setembro de 2013, que estabelece normas para a coleta e o manejo de resíduos sólidos. Esta lei obriga os geradores de resíduos, incluindo os resíduos de poda urbana, a realizar a correta separação e disposição dos materiais para que possam ser destinados adequadamente. Além disso, a cidade implementa programas de compostagem e aproveitamento dos resíduos verdes, contribuindo para a redução do volume de resíduos enviados para aterros sanitários e promovendo a sustentabilidade (Prefeitura de São Paulo, 2023).

No Rio de Janeiro, a Lei Municipal nº 5.917, de 24 de setembro de 2014, regula a gestão de resíduos sólidos e inclui disposições específicas para os resíduos de poda. A legislação exige que os resíduos de poda sejam separados e coletados de forma eficiente, e que sejam encaminhados para tratamento e compostagem, quando apropriado. A cidade promove a utilização de resíduos de poda em processos de

compostagem e produção de adubo, contribuindo para a gestão sustentável dos resíduos (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2022).

Além das leis federais e municipais, o Brasil também segue as diretrizes da Resolução nº 448, de 13 de junho de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que estabelece os procedimentos para a gestão de resíduos sólidos. Esta resolução especifica que os resíduos de poda devem ser tratados de acordo com as melhores práticas ambientais, incluindo a compostagem e a reciclagem, e que os municípios devem implementar estratégias para minimizar a geração de resíduos e maximizar o reaproveitamento (CONAMA, 2011).

No contexto internacional, a gestão de resíduos de poda também é regulamentada por diversas leis e diretrizes que refletem preocupações semelhantes com a sustentabilidade e a proteção ambiental. Na União Europeia, por exemplo, a Diretiva 2008/98/CE, que trata dos resíduos, estabelece princípios para a gestão de resíduos que incluem a hierarquia de resíduos e a promoção da reciclagem e compostagem (UNIÃO EUROPEIA, 2008). A diretiva exige que os estados membros adotem medidas para garantir a coleta seletiva e a correta destinação dos resíduos, incluindo os resíduos de poda.

Nos Estados Unidos, a gestão de resíduos de poda é frequentemente regulamentada a nível estadual e municipal. Por exemplo, na Califórnia, a Lei de Resíduos Orgânicos (Califórnia SB 1383) estabelece metas para a redução de resíduos orgânicos, incluindo resíduos de poda, e promove a compostagem e o uso desses materiais para criar compostos e adubos (CALIFORNIA LEGISLATURE, 2016). Esta legislação é parte de uma abordagem mais ampla para reduzir os resíduos enviados para aterros e promover práticas de gestão sustentável.

## **10 REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE PODA URBANA**

Diante do contexto mencionado anteriormente fica evidente a necessidade de aplicação de uma solução para essa oportunidade. Ainda que não exista planos robustos e que comporem o reaproveitamento desse material orgânico, o engenheiro deve

enxergar esse resíduo como uma matéria prima que pode ser convertida em diversos outros produtos com grande utilidade para a população. A partir disso podemos elencar utilidades da utilização do resíduo de poda urbana como matéria prima em diversos processos. Falemos de três possíveis utilidades de reutilização do resíduo de poda urbana: compostagem, produção de biochar e queima de briquetes

## **11 COMPOSTAGEM**

A compostagem é uma prática sustentável que converte biomassa verde em composto orgânico, um fertilizante valioso para o solo e os resíduos de poda podem ser a matéria prima desse processo. Essa prática pode ser uma ferramenta eficaz para a gestão eficiente de resíduos urbanos e a melhoria da qualidade do solo. A seguir, são abordados os aspectos técnicos essenciais para a compostagem dos resíduos de poda urbana.

### **10.1 Caracterização dos Resíduos**

Os resíduos de poda urbana incluem galhos, folhas, ramos e pequenos troncos de árvores. A composição desses materiais varia conforme as espécies vegetais e a época do ano (LIMA *et al.*, 2016). Galhos e ramos mais grossos devem ser triturados antes da compostagem para facilitar a decomposição. A trituração reduz o tamanho dos resíduos, acelerando o processo de decomposição e melhorando a qualidade do composto final (ZHANG, 2017)

### **10.2 Preparação dos Resíduos**

A preparação dos resíduos é crucial para garantir um processo de compostagem eficiente. Os materiais devem ser reduzidos a tamanhos menores, com diâmetros de 1 a 3 cm para galhos e ramos, utilizando trituradores de madeira. A redução do tamanho aumenta a área de superfície dos resíduos, acelerando a decomposição (MILLER *et al.*, 2014).

Figura 4 - Poda triturada



FONTE: Do autor

### 10.3 Formação do Montículo de Compostagem

O processo de compostagem requer a formação de um montículo ou pilha de compostagem. A estrutura ideal deve seguir a proporção de carbono (C) para nitrogênio (N), recomendada em torno de 30:1 (EPSTEIN, 1997). O resíduo de poda, rico em carbono devido às folhas e galhos, deve ser misturado com materiais ricos em nitrogênio, como resíduos de alimentos e esterco, para equilibrar a proporção C:N (BRADY & WEIL, 2008).

### 10.4 Condições de Compostagem

Para uma compostagem eficaz, é essencial controlar as condições ambientais do montículo. A temperatura interna deve ser monitorada, idealmente atingindo 55-65°C, o que é eficaz para a desinfecção e aceleração da compostagem (Haug, 1993). O montículo deve ser aerado regularmente para fornecer oxigênio às bactérias aeróbicas e evitar a fermentação anaeróbica (SHARMA & KANSAL, 2005).

### **10.5 Monitoramento e Maturação**

O processo de compostagem geralmente leva de 3 a 6 meses, dependendo das condições e do tamanho dos materiais. A umidade deve ser mantida entre 40% e 60% (Bernal *et al.*, 2009). O montículo deve ser umedecido se estiver muito seco e pode ser seco se estiver excessivamente úmido. A maturação é indicada quando o composto se transforma em uma substância escura, rica em nutrientes e com aroma terroso (DAVIDSON & O'LEARY, 2012).

### **10.6 Utilização do Composto**

Após a maturação, o composto deve ser peneirado para remover partículas não decompostas. O composto finalizado pode ser utilizado para melhorar a estrutura do solo, aumentar a retenção de água e fornecer nutrientes essenciais para plantas e culturas. Sua aplicação pode ser feita em jardins, áreas verdes urbanas e projetos de revegetação (SÁNCHEZ *ET AL.*, 2017).

A compostagem de resíduos de poda urbana é um processo técnico que envolve preparação, monitoramento e controle das condições de decomposição. Transformar os resíduos em composto reduz a quantidade de resíduos sólidos e contribui para a saúde do solo e o desenvolvimento sustentável das áreas urbanas. Implementar práticas eficientes de compostagem pode gerar benefícios ambientais significativos e promover a economia circular em ambientes urbanos.

## **12 BIOCHAR**

O crescimento urbano tem gerado uma quantidade crescente de resíduos orgânicos, especialmente aqueles provenientes de podas de árvores e manutenção de áreas verdes urbanas. Estes resíduos, que são frequentemente descartados de forma inadequada, representam um problema ambiental significativo.

No entanto, com o avanço das tecnologias de aproveitamento de biomassa, os resíduos de poda urbana emergem como uma matéria-prima promissora para a produção de biochar, um material carbonizado com múltiplas aplicações na agricultura e no manejo ambiental. Este trabalho explora como os resíduos de poda urbana podem ser transformados em biochar, contribuindo para uma gestão mais sustentável desses resíduos e para a mitigação dos impactos ambientais nas cidades.

### **12.1. O que é Biochar**

O biochar é um material carbonoso produzido pela pirólise de biomassa, que é a decomposição térmica de matéria orgânica em ausência de oxigênio. Este processo resulta em um produto estável e altamente poroso que possui características únicas que o diferenciam de outros tipos de carvão. A principal vantagem do biochar é sua capacidade de sequestro de carbono, o que significa que ele pode capturar e armazenar carbono por períodos prolongados, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas (LEHMANN & JOSEPH, 2015).

Figura 5 - Biochar



FONTE: Up to Us, 2024

A produção de biochar não só ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa, mas também melhora a qualidade do solo de maneira significativa. O biochar é conhecido por aumentar a retenção de água no solo, melhorar a estrutura do solo e aumentar a capacidade de troca catiônica, o que permite uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas (JEFFERY *et al.*, 2011). Esse processo pode levar a um aumento da produtividade das culturas, especialmente em solos de baixa fertilidade ou em condições adversas. Além disso, o biochar pode ajudar a reduzir a necessidade de fertilizantes químicos, que têm impactos ambientais negativos associados, como a eutrofização e a acidificação do solo (CLOUGH *et al.*, 2013).

Outro aspecto relevante do biochar é sua capacidade de adsorver poluentes e melhorar a qualidade da água. O biochar pode captar e reter contaminantes, como metais pesados e compostos orgânicos tóxicos, o que pode reduzir a poluição da água subterrânea e superficial quando aplicado no solo (GLASER *et al.*, 2002). A eficiência do biochar em remover poluentes depende de suas propriedades físicas e químicas, que variam conforme a biomassa utilizada e as condições da pirólise.

A produção de biochar envolve variáveis complexas, como o tipo de biomassa (resíduos agrícolas, madeira, resíduos urbanos etc.) e as condições do processo de pirólise (temperatura, tempo de residência, etc.), que influenciam suas propriedades e aplicações finais (SCHMIDT & NOACK, 2000).

## **13 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA**

### **13.1 Preparação da Biomassa para Produção de Biochar**

Inicialmente, a biomassa deve ser selecionada com base em sua disponibilidade, composição química e potencial energético. Resíduos agrícolas, como casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, ou palha de milho, são frequentemente utilizados devido à sua alta disponibilidade e baixo custo (LEHMANN & JOSEPH, 2015), assim resíduos de madeira e serragem também são amplamente empregados, pois possuem um alto teor de carbono fixo, o que é benéfico para a produção de biochar com características

estáveis e duráveis (STEINER *ET AL.*, 2010). Pode-se concluir que a utilização de resíduos de poda urbana são uma ótima alternativa para a produção de biochar devido a disponibilidade de matéria

Após a seleção, a biomassa passa por um processo de trituração ou redução de tamanho. Esse passo é essencial para aumentar a superfície de contato durante a pirólise, melhorando assim a eficiência térmica do processo e promovendo uma decomposição mais uniforme do material (DEMIRBAS, 2004). A granulometria da biomassa pode afetar diretamente o rendimento do biochar, bem como suas propriedades físicas, como porosidade e densidade (DOWNIE *et al.*, 2009). Estudos indicam que uma biomassa finamente triturada pode levar a uma maior produção de biochar, com uma distribuição mais uniforme dos poros, o que é desejável para aplicações em solo (VERHEIJEN *et al.*, 2010).

Outro aspecto importante na preparação da biomassa é a sua secagem. A biomassa úmida exige mais energia durante a pirólise para evaporar a água presente, o que pode reduzir a eficiência energética do processo e impactar negativamente a qualidade do biochar (SOHI *et al.*, 2010). Assim, a biomassa é geralmente seca até atingir um teor de umidade inferior a 10% antes de ser submetida à pirólise (KUPPENS *et al.*, 2015).

Portanto, a preparação da biomassa não apenas facilita a subsequente pirólise, mas também desempenha um papel decisivo na determinação das propriedades finais do biochar, incluindo sua capacidade de armazenamento de carbono, porosidade e eficácia como condicionador de solo.

### **13.2 Secagem**

Após a seleção e trituração adequadas da biomassa, o próximo passo fundamental no processo de produção de biochar é a secagem. A remoção da umidade da biomassa é crítica para otimizar a eficiência energética da pirólise e garantir a qualidade do biochar produzido. Biomassas com alto teor de umidade podem

comprometer significativamente o processo, pois grande parte da energia necessária para a pirólise seria desviada para a evaporação da água presente, reduzindo assim o rendimento do biochar e aumentando os custos operacionais (LAIRD *et al.*, 2009).

A secagem da biomassa pode ser realizada por métodos naturais ou artificiais. A secagem ao ar livre, um método tradicional e de baixo custo, depende das condições climáticas, o que pode limitar sua eficácia em regiões com alta umidade ou em períodos de chuva (JIRKA & TOMLINSON, 2014). Por isso, em operações de larga escala ou onde o controle sobre a umidade da biomassa é crucial, métodos artificiais, como secadores mecânicos, são preferidos. Esses sistemas, que incluem secadores rotativos ou de esteira, permitem a remoção controlada e eficiente da umidade, independentemente das condições climáticas externas, assegurando que a biomassa atinja o teor de umidade ideal para a pirólise (AMONETTE & JOSEPH, 2009).

Manter o teor de umidade da biomassa abaixo de 10% antes da pirólise é uma prática recomendada, pois esse nível minimiza o consumo de energia para evaporação e maximiza a eficiência da conversão da biomassa em biochar (LEHMANN & JOSEPH, 2015). Além disso, a secagem adequada influencia diretamente as propriedades físicas e químicas do biochar. Por exemplo, biomassa bem seca tende a produzir biochar com maior estabilidade estrutural e menor volatilidade, características essenciais para o uso do biochar em solos, onde sua durabilidade e capacidade de retenção de água e nutrientes são valorizadas (VERHEIJEN *et al.*, 2010).

Assim, a secagem da biomassa não é apenas uma etapa preparatória, mas também um processo crítico que assegura a eficiência da pirólise e a qualidade do biochar produzido. Ao integrar a secagem como parte do manejo da biomassa, é possível maximizar o retorno energético e garantir que o biochar final atenda às especificações desejadas para suas diversas aplicações.

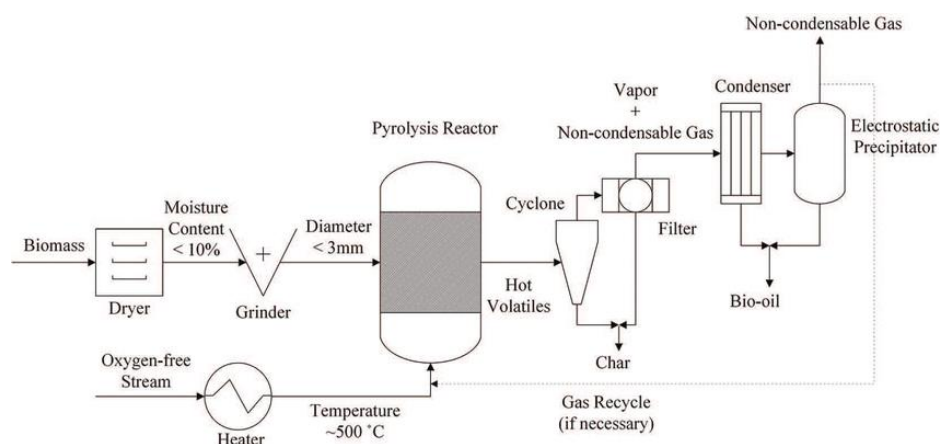
### 13.3 Pirólise

A pirólise é uma técnica termoquímica que produz biochar, bio-óleo e gás de síntese derivados da biomassa (PEACOCKE; BRIDGWATER, 2000). O processo envolve o aquecimento e a decomposição térmica da biomassa sob condições anaeróbicas ou com fornecimento limitado de oxigênio (atmosfera com baixo oxigênio estequiométrico), com temperaturas variando entre 400°C e 1200°C (BOREL *et al.*, 2018). A ausência de oxigênio permite que a biomassa seja aquecida além de seu limite de estabilidade térmica, resultando na criação de produtos mais robustos, incluindo resíduos sólidos. Ao criar uma atmosfera anaeróbica, também se garante que a combustão não ocorra durante o aquecimento da biomassa. Trata-se de um processo altamente complexo, envolvendo muitas reações distintas na zona de reação (BALOGUN; SOTOUDEHNIKARANI; MCDONALD, 2018). Em outro estudo, foi registrado um intervalo de baixa temperatura para a pirólise entre 250°C e 900°C. A biomassa agrícola é composta por lignina, celulose, hemicelulose e sílica. Tipicamente, a celulose se decompõe a 350°C, enquanto o ponto de fusão da lignina está bem acima de 350°C (AL ARNI, 2018). Embora o rendimento dos produtos dependa de várias variáveis operacionais, a formação de char é geralmente favorecida por temperaturas baixas e longos tempos de residência (AZARGOHAR *et al.*, 2019). Portanto, pode-se decodificar que o intervalo efetivo de temperatura para a pirólise varia entre 300°C e 700°C. A quebra de compostos químicos pesados ocorre na pirólise secundária e converte a biomassa em biochar ou gases.

Esta é uma forma alternativa de valorizar a biomassa em diversos produtos, como bio-óleo, gás de síntese e biochar. A despolimerização, fragmentação e reticulação são mecanismos químicos que ocorrem durante o processo em pontos específicos de temperatura, resultando em diferentes estados de produto para os componentes lignocelulósicos, incluindo celulose e hemicelulose (sólido, líquido e gás). Biochar e bio-óleo são os produtos sólidos e líquidos, enquanto CO<sub>2</sub>, CO e H<sub>2</sub> (coletivamente conhecidos como gás de síntese) são os subprodutos gasosos (hidrocarbonetos C<sub>1</sub>-C<sub>2</sub>)

(BOREL *et al.*, 2020). O biochar é produzido em diferentes tipos de reatores, como forno de lâminas, leito fluidizado borbulhante, reator de vagão e forno de areia rotativa agitada.

Figura 6 - Exemplo de processo de produção de biochar



FONTE: Woody Feedstock Pretreatments to Enhance Pyrolysis Bio-oil Quality and Produce Transportation Fuel, 2018

A natureza da biomassa e o tipo empregado determinam o rendimento de biochar durante o processo de pirólise. O principal parâmetro operacional que afeta a eficiência do produto é a temperatura (WEI J *et al.* 2019; CANTRELL KB *et al.*, 2012). Quando a temperatura de pirólise é aumentada, o rendimento de biochar diminui e a geração de gás de síntese aumenta.

A combinação de vários tipos de produtos líquidos é apresentada na segunda seção dos produtos, enquanto o rendimento sólido é indicado no último componente (GABHANE *et al.*, 2020). Uma das maiores vantagens dessa tecnologia é que ela pode ser ajustada para alcançar os resultados desejados. Por exemplo, a pirólise lenta pode ser empregada para gerar uma quantidade significativa de biochar, enquanto a pirólise rápida é mais eficiente na produção predominante de bio-óleo (VARMA & MONDAL, 2018)

### 13.4 Pirólise Lenta

Como o nome indica, a pirólise lenta possui um tempo de residência longo (mais de 1 hora), e o biochar é produzido como um produto principal (LIU; JIANG, 2015). A

pirólise lenta é conhecida como pirólise convencional, na qual a biomassa é aquecida a temperaturas variando entre 300 e 600°C, acompanhada por uma taxa de aquecimento de 5–7°C/min (GABHANE *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2020). Uma taxa de aquecimento mais baixa e um tempo de residência de vapor mais longo fornecem um ambiente adequado e tempo suficiente para que as reações secundárias ocorram. Além disso, um período de residência prolongado permite a evacuação dos vapores gerados durante a reação secundária (TRIPATHI; SAHU; GANESAN, 2016; XU, TOMITA, 1989). Isso leva à formação de biochar carbonáceo sólido no final. A pirólise lenta favorece o desenvolvimento de char, mas também cria produtos líquidos e gasosos em quantidades modestas. O biochar é formado como um produto primário (35–45%), juntamente com outros produtos como bio-óleo (25–35%) e gás de síntese (20–30%).

### **13.5 Resfriamento e Armazenamento do Biochar**

Após a pirólise, o biochar produzido passa pela etapa de resfriamento e armazenamento, que são fases críticas para preservar as propriedades desejadas do produto final e garantir sua segurança e eficácia para uso futuro. O resfriamento adequado é essencial para evitar a oxidação e a combustão espontânea do biochar, que pode ocorrer devido à alta temperatura residual do material ao sair do reator de pirólise (LEHMANN & JOSEPH, 2015).

Durante o processo de resfriamento, o biochar é exposto ao ar em um ambiente controlado para reduzir gradualmente sua temperatura. Métodos comuns incluem o resfriamento em câmaras de ar ou através de sistemas de resfriamento por água, onde o biochar é misturado com água para dissipar o calor rapidamente (KUPPENS *et al.*, 2015). No entanto, é importante monitorar cuidadosamente a quantidade de água utilizada, pois a umidade excessiva pode afetar negativamente as propriedades físicas do biochar, como sua porosidade e capacidade de adsorção (AMONETTE & JOSEPH, 2009).

Além do resfriamento controlado, o armazenamento do biochar desempenha um papel crucial na manutenção de suas qualidades. O biochar deve ser armazenado em

locais secos e protegidos da umidade e do oxigênio excessivo para evitar sua degradação ao longo do tempo. A exposição prolongada ao ar pode levar à oxidação, reduzindo a capacidade do biochar de sequestro de carbono e sua eficácia como condicionador de solo (JIRKA & TOMLINSON, 2014). Por essa razão, o armazenamento em recipientes herméticos ou em silos cobertos é frequentemente recomendado para preservar a integridade do biochar (LEHMANN & JOSEPH, 2015).

A forma e o tamanho das partículas de biochar também influenciam o método de armazenamento. Biochar em pó ou partículas finas exige cuidados adicionais para evitar perdas durante o manuseio e o transporte. Métodos como a compactação ou a peletização do biochar são utilizados para facilitar o armazenamento e a aplicação no campo, além de minimizar a dispersão do material devido ao vento (STEINER *et al.*, 2010).

Portanto, as etapas de resfriamento e armazenamento não são apenas complementares ao processo de produção de biochar, mas essenciais para garantir que o biochar retenha suas propriedades benéficas ao longo do tempo. Um manejo inadequado durante essas etapas pode comprometer a qualidade do biochar e, conseqüentemente, sua eficácia em aplicações agrícolas, ambientais e industriais.

## **14 A ABUNDÂNCIA DE RESÍDUOS DE PODA URBANA**

As áreas urbanas geram uma quantidade significativa de resíduos de poda, que incluem galhos, folhas e troncos resultantes da manutenção de parques, jardins e ruas arborizadas. Estes resíduos são frequentemente descartados em aterros sanitários ou queimados, o que resulta na liberação de gases de efeito estufa e na perda de uma biomassa valiosa (IBRAHIM *et al.*, 2013) como mencionado no início do trabalho. Ao invés de serem tratados como lixo, esses resíduos podem ser transformados em uma matéria-prima rica para a produção de biochar, contribuindo para a economia circular e a sustentabilidade urbana.

## 15 CARACTERÍSTICAS DOS REÍSDOS DE PODA COMO MATÉRIA PRIMA

Os resíduos de poda urbana apresentam características ideais para a produção de biochar devido ao seu conteúdo lignocelulósico, que garante uma alta eficiência de carbonização. Além disso, a composição desses resíduos varia de acordo com o tipo de vegetação urbana, o que pode resultar em biochars com propriedades específicas, adaptados para diferentes aplicações. A utilização desses resíduos não só reduz a necessidade de novos materiais para a produção de biochar, como também diminui os custos de manejo de resíduos urbanos (TAYLOR *et al.*, 2015). No entanto é necessário estudos posteriores sobre o potencial energético e químico dos resíduos de poda urbana para que se compreenda a melhor forma de direcionar a produção do biochar.

É possível fazer um paralelo com as árvores comumente plantadas no Brasil. Essas árvores amplamente plantadas em áreas urbanas do Brasil, como o Ipê, o Oiti, a Sibipiruna e o Pau-ferro, apresentam um potencial significativo para a produção de biochar.

O Ipê (*Tabebuia spp.*), conhecido por sua madeira densa e resistente, possui características que favorecem a produção de um biochar de alta qualidade. A densidade da madeira do Ipê implica em um biochar com propriedades estruturais robustas, o que o torna ideal para solos que necessitam de melhorias na capacidade de retenção de água e nutrientes. Além disso, considerando o valor ornamental e ecológico das espécies de Ipê, o uso de resíduos provenientes de podas ou da remoção de árvores envelhecidas ou doentes é uma abordagem sustentável para a produção de biochar, evitando o impacto sobre as populações naturais dessas árvores (LEHMANN, 2007).

Outra espécie relevante é o Oiti (*Licania tomentosa*), que se destaca por sua copa densa e sua resistência em ambientes urbanos. A madeira do Oiti é igualmente conhecida por ser resistente e durável, características que se refletem em um biochar com excelente capacidade de retenção de nutrientes. O Oiti, amplamente utilizado em calçadas e ruas, pode fornecer uma fonte regular de biomassa residual, como galhos e folhas provenientes das atividades de poda urbana, que são normalmente descartados,

mas que podem ser aproveitados de maneira sustentável para a produção de biochar (DOWNIE *et al.*, 2009).

O Pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*) é outra árvore com grande potencial para a produção de biochar devido à sua madeira densa e durável. O biochar produzido a partir do Pau-ferro tende a ser altamente estável, permanecendo no solo por longos períodos, o que o torna adequado para a recuperação de solos degradados, onde é necessário um biochar que melhore a estrutura do solo de forma duradoura. Este fator é particularmente relevante em áreas urbanas com solos compactados ou degradados, onde o biochar pode desempenhar um papel crucial na revitalização do solo (MUKHERJEE *et al.*, 2011).

A Sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*), que pertence ao mesmo gênero do Pau-ferro, também apresenta madeira densa e é amplamente plantada em áreas urbanas devido à sua capacidade de fornecer sombra abundante e suas flores amarelas ornamentais. O biochar produzido a partir da Sibipiruna possui características que o tornam útil para melhorar a capacidade de retenção de água dos solos, uma qualidade particularmente benéfica em ambientes urbanos onde a gestão da água é um desafio constante. Além disso, a ampla presença da Sibipiruna em áreas urbanas oferece uma fonte contínua de biomassa residual para a produção de biochar, fortalecendo a viabilidade dessa prática em cidades brasileiras (LEHMANN & JOSEPH, 2009).

Dessa forma, as espécies de árvores comumente plantadas em áreas urbanas do Brasil, como o Ipê, o Oiti, o Pau-ferro e a Sibipiruna, possuem características que as tornam adequadas para a produção de biochar, especialmente quando se utiliza a biomassa residual proveniente da manutenção urbana.

## **16 APLICAÇÕES ESPECÍFICAS DO BIOCHAR**

As aplicações do biochar são amplamente reconhecidas em diversas áreas, com destaque para a agricultura, a mitigação das mudanças climáticas e a remediação ambiental. Na agricultura, o biochar é utilizado principalmente como um melhorador de solo, devido à sua capacidade de aumentar a retenção de água, melhorar a estrutura do solo e fornecer um habitat para microrganismos benéficos. Quando incorporado ao solo,

o biochar pode aumentar a capacidade de troca catiônica, o que melhora a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Além disso, sua estrutura porosa favorece a retenção de água, especialmente em solos arenosos, promovendo um ambiente mais estável para o desenvolvimento das culturas agrícolas (LEHMANN & JOSEPH, 2009).

Outro aspecto importante da aplicação do biochar na agricultura é a sua capacidade de sequestrar carbono. Como o biochar é uma forma de carbono estável, ele pode permanecer no solo por centenas a milhares de anos, reduzindo a quantidade de dióxido de carbono na atmosfera e contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Estudos indicam que o uso de biochar pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa, como metano e óxido nitroso, provenientes do solo, tornando-o uma ferramenta valiosa na luta contra o aquecimento global (SPARKS, 2013).

Além de suas aplicações agrícolas, o biochar também é eficaz na remediação ambiental. Devido à sua alta capacidade de adsorção, o biochar pode ser utilizado para remover contaminantes do solo e da água, como metais pesados, pesticidas e outros poluentes orgânicos. Em ambientes contaminados, o biochar pode atuar como um adsorvente, capturando e imobilizando esses contaminantes, reduzindo sua biodisponibilidade e o risco de contaminação das cadeias alimentares (KASOZI *et al.*, 2010).

Na gestão de resíduos, o biochar apresenta uma solução sustentável para o manejo de resíduos orgânicos. A pirólise de resíduos urbanos para a produção de biochar não apenas reduz o volume de resíduos, mas também transforma esses materiais em um produto valioso para o solo. Essa prática contribui para a economia circular, ao converter resíduos em insumos agrícolas e ao reduzir a necessidade de fertilizantes sintéticos (WOOLFE *et al.*, 2014).

Adicionalmente, o biochar tem sido explorado em aplicações industriais, como na produção de materiais de construção sustentáveis, na captura de carbono em processos industriais, e até mesmo como um aditivo em rações animais para melhorar a digestibilidade e reduzir emissões de metano entérico. Essas aplicações diversificadas

mostram o potencial do biochar como um material versátil e sustentável, com amplas possibilidades de uso em diferentes setores da economia.

## **17 IMPACTOS AMBIENTAIS POSITIVOS**

A transformação dos resíduos de poda urbana em biochar oferece uma solução ambientalmente benéfica para a gestão desses resíduos. Ao invés de liberarem metano e outros gases de efeito estufa quando depositados em aterros sanitários, os resíduos convertidos em biochar sequestram carbono no solo, ajudando a mitigar as mudanças climáticas (SPROUSE *et al.*, 2012). Além disso, a aplicação de biochar no solo contribui para a remediação de áreas degradadas e a melhoria da saúde do solo, o que é crucial para a agricultura urbana e a gestão de espaços verdes nas cidades.

## **18 VIABILIDADE ECONÔMICA E SUSTENTABILIDADE**

Do ponto de vista econômico, a produção de biochar a partir de resíduos de poda urbana é uma alternativa viável que pode ser integrada a programas de gestão de resíduos sólidos municipais. A venda do biochar, ou a sua utilização em programas de melhoria do solo, pode gerar receita adicional para os municípios, ao mesmo tempo que reduz os custos de disposição de resíduos (WOOLFE *et al.*, 2020). Além disso, a adoção dessa prática pode atrair investimentos e subsídios relacionados a iniciativas de sustentabilidade e mitigação das mudanças climáticas.

## **19 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS**

Apesar dos benefícios, a produção de biochar a partir de resíduos de poda urbana enfrenta desafios, como a necessidade de infraestrutura adequada para a coleta, processamento e pirólise da biomassa. Além disso, é essencial realizar estudos para garantir que o biochar produzido tenha qualidade consistente e que suas aplicações sejam otimizadas para diferentes tipos de solo e condições climáticas. Pesquisas futuras

devem focar na melhoria da eficiência dos processos de produção e no desenvolvimento de políticas públicas que incentivem o uso dessa tecnologia em larga escala.

## 20 COMBUSTÃO DE BRIQUETES

O resíduo de poda urbana possui características energéticas, físicas e químicas com potencial para geração de energia térmica, lembrando que a contribuição de biomassa na matriz energética brasileira vem crescendo nos últimos anos, seguindo uma tendência mundial de reaproveitamento de recursos materiais. Após triturado e seco, o resíduo de poda urbana pode ser diretamente utilizado para queima (DA SILVA *et. al*, 2021) ou pode ainda passar por uma etapa prévia de compactação para a produção de briquetes (RIBASKI *et. al*, 2023). Um briquete de biocombustível com valor comercial deve ter boa resistência mecânica a fragmentação e a abrasão durante o manuseamento e a estocagem. O crescente interesse em processos para a produção de briquetes de biocombustíveis, desde a pequena escala até a industrial, é uma clara tendência de mudança nos últimos tempos. A atual conscientização ambiental criou um senso crítico mais amplo em relação aos malefícios causados pela exploração descuidada dos recursos naturais.

Figura 7 - Produção de briquetes com resíduos de poda urbana na cidade Presidente Prudente



FONTE: Prefeitura de Presidente Prudente, 2023

Como incentivo para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis baseadas em matérias-primas renováveis, soma-se ainda o aumento na demanda de energia e a

iminuição da disponibilidade de combustíveis fósseis. Atualmente a biomassa é uma das fontes de energia mais promissoras, pois além de ser uma alternativa às fontes convencionais, como petróleo e gás natural, tem a vantagem de ser renovável. O Brasil possui um notável potencial de geração de biomassa de resíduos principalmente agroindustriais, dada a sua intensa atividade agrícola. Fora do setor agroindustrial, a poda urbana ainda figura como uma biomassa pouco aproveitada, existem aspectos socioeconômicos pouco explorados sobre o impacto social da transformação desses resíduos em ativos ambientais. Além disso, novas fontes renováveis de energia por meio do uso de biomassa contribuem com a matriz elétrica brasileira, em sua grande parte, dependente da energia hidráulica que corresponde a mais de 50% de toda a oferta interna de energia (EPE, 2022). Quando os índices pluviométricos estão baixos, é necessário o uso de fontes não renováveis de energia, como o carvão, o que eleva os custos da distribuição de energia e contribuem com o efeito estufa.

O aproveitamento da biomassa também pode ser visto como uma oportunidade para dinamizar a economia circular no Brasil, criando emprego e formalizando mão-de-obra, tendo também um importante papel na redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE), no âmbito das mudanças climáticas e mitigação dos impactos ambientais. Sendo assim, a busca e o uso da biomassa gerada a partir de resíduos industriais, de culturas agrícolas e de arborização urbana, por exemplo, ganharam impulso e vêm promovendo inovações tecnológicas no setor produtivo. Ao mesmo tempo em que isso acontece, tornou-se imperativo buscar não somente melhorias na qualidade dos briquetes de biomassas, mas também a otimização do seu processo de produção (TUMULURU *et al.*, 2011). Briquetes de limalha de madeira destinados à queima são os mais encontrados em aplicações cotidianas devido à grande disponibilidade desse material na forma de resíduo (MORENO *et. al*, 2017). Ainda existe uma grande lacuna entre a produção desse briquete mais comum e o de resíduo de poda urbana.

Cavalcanti (2020) estudou a produção de briquetes a partir do resíduo da poda de espécies arbóreas de João Pessoa, PB, no contexto do aproveitamento energético através da queima. Foram produzidos briquetes das espécies arbóreas *Ficus Bejamina*, *Castanholá*, *Algabora*, separadamente, e da mistura sem separação. O poder calorífico

superior medido nos experimentos de combustão ficou entre 15,3 e 18,6 mil kJ.Kg<sup>-1</sup>, não muito distante do eucalipto puro (boa madeira para queima), que é em torno de 21.239,13 kJ kg<sup>-1</sup> (GONÇALVES *et al.*, 2009). Os resultados deste trabalho mostraram que há viabilidade técnica para reaproveitamento de resíduos de poda urbana para a produção de briquetes de boa qualidade, tanto mecânica quanto de geração de energia térmica. Atualmente, a combustão é a principal via de obtenção de bioenergia, sendo responsável por 90% da reutilização de biomassa. A escolha de um sistema de conversão termoquímica de biomassa é fortemente influenciada pelas características do combustível utilizado, pela legislação ambiental local, pelos custos e pelo desempenho do equipamento necessário ou disponível, bem como pela demanda de energia e pela capacidade de geração de calor e eletricidade. A queima de resíduos de poda urbana, na forma de briquetes ou não, é, portanto, uma possibilidade tecnológica de reaproveitamento.

## **21 CONCLUSÃO**

Conclui-se que, embora a importância da arborização urbana seja amplamente reconhecida, ainda há um longo caminho para a implementação de políticas que tornem o plantio de árvores uma prática obrigatória e bem regulamentada nas cidades. A ausência de uma legislação específica impacta negativamente não apenas o desenvolvimento sustentável das áreas urbanas, mas também a gestão dos resíduos gerados pelas árvores, os quais, se devidamente manejados, podem se transformar em recursos valiosos.

Neste contexto, o papel do engenheiro químico se torna essencial, especialmente na transformação desses resíduos de poda urbana em produtos de valor agregado, como o biochar, na compostagem ou na formação de briquetes. O biochar, quando aplicado ao solo, pode oferecer benefícios ambientais significativos, como a melhoria da qualidade do solo, a retenção de carbono e a redução das emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para uma urbanização mais sustentável enquanto os briquetes feitos com resíduo de poda urbana pode ser uma ótima base de fonte energética.

Apesar dos desafios ainda existentes em relação à coleta e ao tratamento adequado dos resíduos vegetais, as perspectivas para o uso do biochar, produção de briquetes são promissoras, assim como seu uso adequado mais comum que é na compostagem. A adoção dessas práticas, alinhada às crescentes demandas por sustentabilidade, pode não apenas minimizar os impactos ambientais negativos, mas também promover um uso mais eficiente dos recursos naturais urbanos. Portanto, investir em pesquisa e desenvolvimento de métodos eficazes para a produção e aplicação do biochar e briquetes, assim como o manejo de resíduos de poda nos grandes centros, se apresenta como uma estratégia fundamental para o futuro das cidades, aliando a preservação ambiental ao avanço tecnológico.

## REFERÊNCIAS

AL ARNI, S. **Comparison of slow and fast pyrolysis for converting biomass into fuel**. *Renewable Energy*, v. 124, p. 197-201, 2018.

AMONETTE, J. E.; JOSEPH, S. **Characteristics of biochar**: Microchemical properties. In: JOSEPH, S.; LEHMANN, J. (Eds.). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. London: Earthscan, 2009. p. 33-52.

ANGEOLETO, F. H. S.; SANTOS, J. W. M. C. **Los biólogos brasileños no habitan en el planeta ciudad por qué es urgente formar ecólogos urbanos**. *Revista Espaço Acadêmico*, n.165, 2015.

ARBOR DAY FOUNDATION. **The Right Tree in the Right Place for a Resilient Future**. [S.l.]: Arbor Day Foundation, 2020

ARMAGH, E. K.; CHETTY, M.; ADEDEJI, J. A.; ESTRICE, D. E.; MUTSVENE, B.; SINGH, N.; TSHEMESE, Z. **Biochar**: Production, application and the future. In: IntechOpen. 2022. DOI: 10.5772/intechopen.105070.

ARNOLD, M. A. **Pruning and caring for landscape trees**. University of California Agriculture and Natural Resources, 1993.

AZARGOHAR, R.; NANDA, S.; DALAI, A. K.; KOZINSKI, J. A. **Physico-chemistry of biochars produced through steam gasification and hydro-thermal gasification of canola hull and canola meal pellets**. *Biomass and Bioenergy*, v. 120, p. 458-470, 2019.

BALOGUN, A. O.; SOTOUDEHNIKARANI, F.; MCDONALD, A. G. **Thermo-kinetic, spectroscopic study of brewer's spent grains and characterisation of their pyrolysis products**. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 127, p. 8-16, 2017.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. **Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment**. *Waste Management*, v. 29, n. 5, p. 2285-2294, 2009.

BOREL, L. D.; LIRA, T. S.; RIBEIRO, J. A.; ATAÍDE, C. H.; BARROZO, M. A. **Pyrolysis of brewer's spent grain**: Kinetic study and products identification. *Industrial Crops and Products*, v. 121, p. 388-395, 2018.

BOREL, L. D.; REIS FILHO, A. M.; XAVIER, T. P.; LIRA, T. S.; BARROZO, M. A. **An investigation on the pyrolysis of the main residue of the brewing industry**. *Biomass and Bioenergy*, v. 140, p. 105698, 2020.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. Pearson Education, 2008.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. *Diário Oficial da União*, 2010.

BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília: *Ministério do Meio Ambiente*, 2012.

BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento-SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2019**. Brasília, SNS/MDR, 2020. 244p.

BRICKELL, C. **A poda**. Portugal: *Publicações Europa América Ltda.*, 1979.228 p.

BRIDGWATER, A. V. **Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading**. *Biomass and Bioenergy*, v. 38, p. 68-94, 2012.

BRIDGWATER, A.; PEACOCKE, G. **Fast pyrolysis processes for biomass**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 4, n. 1, p. 1-73, 2000.

CALIFORNIA LEGISLATURE. **California SB 1383. Lei sobre a redução de resíduos orgânicos**, 2016.

CANTRELL, K.B.; HUNT, P.G.; UCHIMIYA, M.; NOVAK, J.M.; RO, K.S. **Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar**. *Bioresource Technology*. 2012; 107:419-428

CITY OF SYDNEY. **Tree management**. 2022. Disponível em: <https://www.cityofsydney.nsw.gov.au>. Acesso em: 09 jul. 2024.

CLOUGH, T. J.; CONDRON, L. M. **Biochar and the Nitrogen Cycle**. *Journal of Environmental Quality*, v. 42, n. 2, p. 389-402, 2013.

COMLURB. **Gestão de arborização urbana**. 2020. Disponível em: <http://www.comlurb.rio.br>. Acesso em: 16 jul. 2024.

CONAMA. Resolução nº 448, de 13 de junho de 2011. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/resol/2011/448.html>. Acesso em: 21 jul. 2024.

COLTRI, P. P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-25102006-123617/>. Acesso em: 07 jul. 2024.

COUTANCEAU, M. **Fruticultura**. Barcelona: *Oikus-tan, S.A. Ediciones*, 1971. 608p.

CULL, B.N. **Mango crop management**. *Acta Horticulturae, Wageningen*, n.291, p.154-173, 1991.

DAVIDSON, M. M.; O'LEARY, M. J. **Composting and recycling of municipal organic waste**. *CRC Press*, 2012.

DEMIRBAS, A. **Biofuels from biomass**. *Energy Conversion and Management*, v. 45, n. 1, p. 39-46, 2004.

DOWNIE, A.; CROSKY, A.; MUNROE, P. Physical properties of biochar. In: JOSEPH, S.; LEHMANN, J. (Eds.). **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. London: Earthscan, 2009. p. 13-32.

DWYER, J. F.; MCPHERSON, E. G.; SCHROEDER, H. W.; ROWNTREE, R. A. **Assessing the benefits and costs of the urban forest**. *Journal of Arboriculture*, v. 18, n. 5, p. 227-234, 1992.

**ECOSYSTEM SERVICES OF URBAN TREES AND THE EFFECTS OF MANAGEMENT PRACTICES**. *Ecological Indicators*, v. 132, p. 108208, 2022.

Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/ecological-indicators>. Acesso em: 10 de ago. 2024

ECYCLE, E. **Gás metano: o que é, características e efeitos**. -eCycle, , 19 ago. 2024. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/metano/>>. Acesso em: 27 jun. 2024

EPSTEIN, E. **The Science of Composting**. CRC Press, 1997.

GABHANE, J. W.; BHANGE, V. P.; PATIL, P. D.; BANKAR, S. T.; KUMAR, S. **Recent trends in biochar production methods and its application as a soil health conditioner: A review**. *SN Applied Sciences*, v. 2, n. 7, p. 1-21, 2020.

GALÁN SAÚCO, V. **El cultivo dei mango**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1999. 98 p.

GARTNER, R.; GORCHOV, D. L.; RUSSELL, C. **Effectiveness of tree canopies in reducing soil erosion**. *Environmental Management*, v. 33, n. 5, p. 593-605, 2004.

GILMAN, E. F. **Trees and Shrubs: The Right Tree for the Right Place**. International Society of Arboriculture, 2012.

GILMAN, E. F.; MATHENY, N. P. **Trees and shrubs for urban and suburban landscapes**. University of Florida, 2008.

GLASER, B.; LEHMANN, J.; ZECH, W. **Ameliorating Physical and Chemical Properties of Highly Weathered Soils in the Tropics with Charcoal—A Review**. *Biology and Fertility of Soils*, v. 35, n. 4, p. 219-230, 2002.

HARRIS, R. W.; CLARK, J. R.; MATHENY, N. P. **Arboriculture: Integrated management of landscape trees, shrubs, and vines**. Prentice Hall, 1999.

HAUG, R. T. **The Practical Handbook of Compost Engineering**. CRC Press, 1993.

HONORATO, A. M. B. **Avaliação de modelos analíticos para a determinação da absorção sonora de materiais poroelásticos**. 2013.

HU, J., et al. **Effects of temperature and particle size on the fast pyrolysis of biomass**. *Energy*, v. 69, p. 451-458, 2014.

IBRAHIM, A., et al. **Use of urban green waste for biochar production and its application in agriculture**. *Journal of Environmental Management*, v. 114, p. 416-421, 2013.

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE (IBI). **Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil**. International Biochar Initiative, 2015.

**INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT); FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (FAUUSP).**

Resíduos de podas de árvores urbanas: como reaproveitar? São Paulo: IPT, FAUUSP, 2023. Disponível em: <https://conteudo.ipt.br/como-reaproveitar-residuo-de-poda>. Acesso em: 13 jul. 2024.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F. G. A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A. C. **A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis**. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 144, n. 1, p. 175-187, 2011.

JIRKA, S.; TOMLINSON, T. **State of the Biochar Industry**. International Biochar Initiative, 2014.

KASOZI, A.; NKEDI-KIZZA, P.; HARRIS, W. G.; MOSSA, J. **Sorption of phosphorus on carbonatic and non-carbonatic soils of Florida**. *Soil Science Society of America Journal*, v. 74, n. 4, p. 1607-1615, 2010.

KOESER, A. K. et al. **A review of urban tree management strategies and their effects**. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 10, n. 4, p. 279-287, 2011.

KOLBE, S. E.; MILLER, A. I.; GUY, CAMERON, G. N.; MCCULLEY, T. M. **Effects of natural and anthropogenic environmental influences on tree community composition and structure in forests along an urban-wildland gradient in southwestern Ohio**. *Urban Ecosystems*, v. 19, n. 2, p. 915–938, 25 jan. 2016.

KUMAR, A. et al. **Biochar application in sustainable agriculture**. In: *Soil Degradation and Restoration in Africa*. p. 325-344, 2019.

KUPPENS, T.; CORNELISSEN, T.; CARLEER, R.; SCHREURS, S.; YPERMAN, J.; CARLEER, R. **Biochar production from biomass: Thermal degradation behaviour of different feedstocks**. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 113, p. 127-136, 2015.

LAIRD, D. A.; BROWN, R. C.; AMONETTE, J. E.; LEHMANN, J. **Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar**. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, v. 3, n. 5, p. 547-562, 2009.

LEHMANN, J. **Bio-energy in the black**. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2007.

LEHMANN, J.; GAUNT, J.; RONDON, M. **Biochar sequestration in terrestrial ecosystems—a review**. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, v. 13, n. 5, p. 403-427, 2011.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for environmental management: science and technology**. London: Earthscan, 2009.

- LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation**. London: Routledge, 2015.
- LEHMANN, J.; RILLIG, M. C.; THIES, J.; MASIELLO, C. A.; HOCKADAY, W. C.; CROWLEY, D. **Biochar effects on soil biota – a review**. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 42, n. 9, p. 1812-1836, 2010.
- LI, W.; WANNINAYAKE, N.; GAO, X.; LI, M.; PU, Y.; KIM, D. Y.; RAGAUSKAS, A. J.; SHI, J. **Mechanistic insight into lignin slow pyrolysis by linking pyrolysis chemistry and carbon material properties**. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, v. 8, n. 42, p. 15843-15854, 2020.
- LILLY, S. **Tools and equipment for tree pruning**. International Society of Arboriculture, 2007.
- LIMA, J. M.; GUARESCHI, R. S.; SOUZA, A. F. **Caracterização dos resíduos orgânicos urbanos para compostagem**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 9, p. 800-806, 2016.
- LOCKE, D.H.; BAINE, G. **The good, the bad, and the interested: how historical demographics explain present-day tree canopy, vacant lot and tree request spatial variability in New Haven, CT**. *Urban Ecosystems*, v.18, n.2, p.391-409, 2015
- LIU, W.-J.; JIANG, H.; YU, H.-Q. **Development of biochar-based functional materials: Toward a sustainable platform carbon material**. *Chemical Reviews*, v. 115, n. 22, p. 12251-12285, 2015.
- LONDON TREE OFFICERS ASSOCIATION. **Tree management guidelines**. 2020. Disponível em: <https://www.ltoa.org.uk>. Acesso em: 29 jun. 2024.
- MALEKI, K.; HOSSEINE, S. M. **Investigation of the effects of leaves, branches and canopies of trees on noise pollution reduction**. *Annals of Environmental Science*, v. 5, p. 13-21, 2011.
- MCPHERSON, E. G. et al. **Urban tree health: The importance of pruning for pest and disease management**. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 16, n. 3, p. 379-389, 2016.
- MILLER, R. J.; ROBESON, R. M.; SHAFER, S. E. **Composting: A practical guide for composting organic waste**. Wiley, 2014.
- MILLER, R. W.; **Urban forestry: planning and managing urban green spaces**. 2.ed. New Jersey: Prentice Hall, 1997. 502p.
- MUKHERJEE, A.; LAL, R.; ZIMMERMAN, A. R. **Impacts of biochar and other organic amendments on soil carbon and nitrogen storage and greenhouse gas emissions in a leachate contaminated soil**. *Journal of Environmental Management*, 2011.
- MULLEN, C. A. et al. **Bio-oil production from biomass: Review and recent developments**. *Energy Conversion and Management*, v. 51, n. 5, p. 999-1015, 2010.

MULLINS, P. D. F. **Pruning mango trees**. Pretoria, South África: *Departement of Agriculture and Water Supply*, 1986.

NELSON, C. D.; SMILEY, E. T.; BURCH, R. **Tree Structure and Mechanics**. Springer, 2007.

NEW YORK CITY DEPARTMENT OF PARKS & RECREATION. **Tree care and maintenance**. 2021. Disponível em: <https://www.nycgovparks.org>. Acesso em: 26 jul. 2024.

PAIVA, H.N.; GONÇALVES, W. **Florestas urbanas: Planejamento para melhoria da qualidade de vida**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Lei Municipal nº 15.939, de 22 de setembro de 2013. **Normas para coleta e manejo de resíduos sólidos**. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br>. Acesso em: 22 jul. 2024.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Manual de Podas**. Secretaria do Verde e do Meio Ambiente, 2017.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Programa de Compostagem e Aproveitamento de Resíduos**. 2023. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br>. Acesso em: 27 jul. 2024.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. Lei Municipal nº 5.917, de 24 de setembro de 2014. **Regula a gestão de resíduos sólidos**. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br>. Acesso em: 16 jun. 2024.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Programa de Compostagem de Resíduos Orgânicos**. 2022. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br>. Acesso em: 13 jun. 2024.

ROCHA, A. J. F. et al. **Destinação sustentável do resíduo da poda de árvores urbanas**. In: *XV Safety, Health and Environment World Congress, XV*. 2015. p. 137-141.

SARTORI, R. A.; MARTINS, G. A. C.; ZAÚ, A. S.; BRASIL, L. S. C. **Urban afforestation and favela: a study in a community of Rio de Janeiro, Brazil**. *Urban Forestry Urban Greening*, 2018.

SILVA, M. C. **Arborização urbana de quatro cidades do leste de Mato Grosso do Sul**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, UFGO, Jataí - GO.

SÁNCHEZ, E.; POMA, D.; GARCÍA, I. **Utilization of compost in urban agriculture**. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, v. 2, n. 1, p. 65-76, 2017.

SCHMIDT, M. W. I.; NOACK, A. G. **Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges**. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 14, n. 3, p. 777-793, 2000.

- SHARMA, R. K.; KANSAL, A. **Composting and its environmental aspects**. *Environmental Science & Policy*, v. 8, n. 2, p. 186-195, 2005.
- SHIGO, A. L. **A new tree biology**: Facts, photos, and philosophies on trees and their problems and proper care. Shigo and Trees Associates, 1986.
- SIMAO, S. **Tratado de fruticultura**. Piracicaba, SP: FEALQ, 1998. 760 p.
- SMILEY, E. T. KANE, B. **Tree pruning**: Practices and effects. *Arboriculture & Urban Forestry*, v. 38, n. 6, p. 239-248, 2012.
- SMITH, C. W. et al. **Urban tree hazards: A review of tree-related incidents and risk management strategies**. *Journal of Arboriculture*, v. 45, n. 2, p. 80-92, 2019.
- SOHI, S. P.; KRULL, E.; LOPEZ-CAPEL, E.; BOL, R. **A review of biochar and its use and function in soil**. *Advances in Agronomy*, v. 105, p. 47-82, 2010.
- SPARKS, D. L. **Environmental Soil Chemistry**. Academic Press, 2013.
- SPROUSE, D.; TAHERIPOUR, F.; TYNER, W. E. **The economics of biochar production, utilization, and sequestration**. *Agricultural Economics*, v. 43, n. 2, p. 209-223, 2012.
- STEINER, C.; DAS, K. C.; MELEAR, N.; LAKLY, D. **Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar**. *Journal of Environmental Quality*, v. 39, n. 4, p. 1236-1242, 2010.
- TAYLOR, P.; ZABANIOTOU, A. **Challenges and opportunities for biochar and bioenergy production in the United States: A review**. *Energy*, v. 93, p. 2024-2036, 2015.
- THE ROLE OF URBAN TREES IN ENHANCING AESTHETIC AND ECONOMIC VALUE**. *Landscape and Urban Planning*, v. 196, p. 103750, 2020. Disponível em: <https://www.journals.elsevier.com/landscape-and-urban-planning>. Acesso em: 10 de ago. 2024
- TRIPATHI, M.; SAHU, J. N.; GANESAN, P. **Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 55, p. 467-481, 2016.
- UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2008/98/CE. **Diretiva sobre resíduos**. 2008. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- URBEL. **Gestão de arborização em Belo Horizonte**. 2021. Disponível em: <http://www.urbel.com.br>. Acesso em: 11 jul. 2024.
- VARMAAK, MONDAL P. **Pyrolysis of pine needles: Effects of process parameters on products yield and analysis of products**. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2018;131(3):2057-2072
- VELARDE, F.G.A. **Tratado de arboricultura frutal**. Madrid: Mundi-Prensa, 1989. 103p.

VERHEIJEN, F.; JEFFERSON, M.; BASTOS, A. C.; VAN DER VOORST, G.; DIOGO, M. **Biochar application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions.** Luxembourg: Office for the Official Publications of the European Communities, 2010.

VIANA, Sabrina Mieko. **Percepção e quantificação das árvores na área urbana do município de São Carlos, SP.** 2013. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

WATSON, G. W.; HIMELICK, E. B. **Manual of woody landscape plants:** Their identification, ornamental characteristics, culture, propagation, and uses. Stipes Publishing, 2013.

WEI, J.; TU, C.; YUAN, G.; LIU, Y.; BI, D.; XIAO, L.; LU, J.; THENG, B. K. G.; WANG, H.; ZHANG, L.; ZHANG, X. **Assessing the effect of pyrolysis temperature on the molecular properties and copper sorption capacity of a halophyte biochar.** *Environmental Pollution*, v. 251, p. 56-65, 2019.

WILLIAMS, P. T.; BESLER, S. **The influence of temperature on the fast pyrolysis of biomass.** *Fuel*, v. 75, n. 12, p. 1531-1541, 1996.

WOOLFE, D. et al. **Biochar for urban soils:** balancing cost and sustainability. *Journal of Environmental Management*, v. 260, p. 110-118, 2020.

WOOLFE, M.; SHACKLEY, S.; SOHI, S. **Biochar as a soil amendment:** A review of the environmental implications. Springer, 2014.

XU, W.-C.; TOMITA, A. **The effects of temperature and residence time on the secondary reactions of volatiles from coal pyrolysis.** *Fuel Processing Technology*, v. 21, n. 1, p. 25-37, 1989.

ZANG, H. Y. **Composting of urban green waste: Impact of particle size on decomposition and compost quality.** *Waste Management & Research*, v. 35, n. 7, p. 650-657, 2017.

ZHANG, Q. et al. **Fast pyrolysis of biomass:** A review. *Energy & Fuels*, v. 24, n. 7, p. 3620-3631, 2010.